

①



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 663 491 A5

⑤① Int. Cl.⁴: H 01 L 23/14
H 01 L 23/56

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

// H 01 L 25/16

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 933/84

⑦③ Inhaber:
BBC Brown Boveri AG, Baden

②② Anmeldungsdatum: 27.02.1984

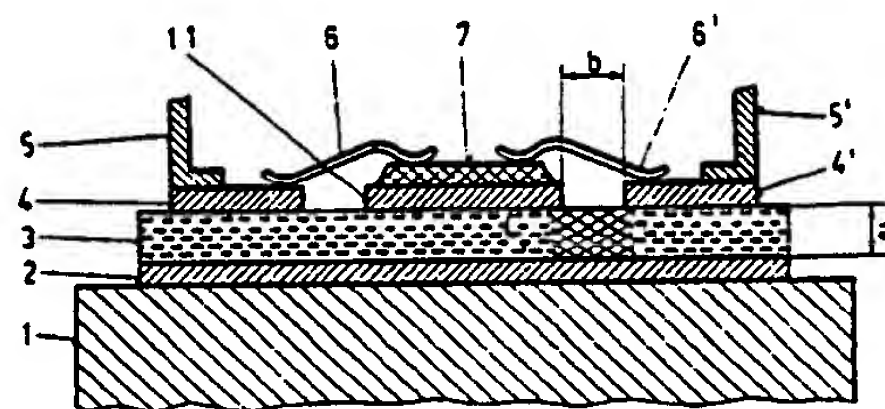
②④ Patent erteilt: 15.12.1987

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 15.12.1987

⑦② Erfinder:
Gobrecht, Jens, Dr., Gebenstorf

⑤④ Elektronisches Schaltungsmodul.

⑤⑦ Bei einem elektronischen Schaltungsmodul, bei dem auf einem Substrat (3) Montageflächen (11) für Halbleiterbauelemente (7) und Leiterbahnen (4, 4') für den Anschluss der Halbleiterbauelemente (7) nebeneinander angeordnet und durch Zwischenräume voneinander getrennt sind, wird durch die Verwendung von Varistor-material für das Substrat (3) ein hybrides Modul mit integriertem Überspannungsschutz geschaffen, das sich einfach herstellen lässt und sich durch hohe Belastbarkeit auszeichnet.



Die Aufgabe wird bei einem elektronischen Schaltungsmodul der eingangs genannten Art durch die Merkmale aus dem Kennzeichen des Anspruchs 1 gelöst.

Die erfindungsgemässe Ausführung des Substrats aus Varistormaterial mit einer hinreichend nichtlinearen Strom-Spannungscharakteristik und die auf den erwünschten Begrenzungseffekt abgestimmte Wahl der Abstände zwischen den Leiterflächen ermöglichen einen integrierten Überspannungsschutz, der ohne zusätzliche Verfahrensschritte innerhalb der Modulherstellung realisiert werden kann und zugleich die für leistungselektronische Anwendung erforderliche Belastbarkeit und Höhe der Begrenzerspannung aufweist.

Neben der integrierten Spannungsbegrenzung zwischen den einzelnen Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats ist bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung eine metallische Rückenplatte auf der Unterseite des Substrats vorgesehen, die als geerdete Bezugselektrode mit dem zwischen Ober- und Unterseite liegenden Substratmaterial eine zusätzliche Spannungsbegrenzung der Leiterflächen gegen Massepotential gewährleistet und die thermische Ankopplung des Moduls an einen darunterliegenden Kühlkörper verbessert.

Um eine Begrenzungskennlinie mit scharf definiertem Einsatzpunkt zu erhalten, ist es besonders vorteilhaft, als Varistormaterial eine Keramik auf der Grundlage eines Metalloxids zu wählen, wobei sich insbesondere mit ZnO Werte für den Exponenten α in der Grössenordnung von 30 erreichen lassen.

Besonders günstige Verhältnisse für die Wärmeableitung von der Schaltung durch das Substrat auf einen darunterliegenden Kühlkörper werden erhalten, wenn als Varistormaterial eine Keramik auf der Grundlage von SiC mit Beimengungen von BeO eingesetzt wird, die ein spannungsbegrenzendes Verhalten mit hoher Wärmeleitfähigkeit kombiniert.

Die Erfindung soll nun nachfolgend mit Bezug auf die Zeichnungen anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungsmodul nach der Erfindung mit Rückenplatte auf einem Kühlkörper;

Fig. 2 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungsmodul gemäss Fig. 1 mit zusätzlicher Zwischenleit- und Isolierkeramikschiicht;

Fig. 3 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungsmodul gemäss Fig. 1 mit zusätzlichen Vertiefungen im Substrat zwischen den Leiterflächen;

Fig. 4 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungsmodul gemäss Fig. 2 mit teilweise direkter Montage der Halbleiterbauelemente ohne Spannungsbegrenzung;

Fig. 5 die perspektivische Ansicht eines elektronischen Schaltungsmoduls nach der Erfindung mit definierter Verengung zwischen den Leiterflächen, und

Fig. 6 den Querschnitt durch ein elektronisches Schaltungsmodul nach der Erfindung ohne Rückenplatte.

In Fig. 1 ist der Querschnitt durch ein Ausführungsbeispiel eines elektronischen Schaltungsmoduls nach der Erfindung dargestellt. Auf die Oberseite eines Substrats 3 sind metallische Leiterflächen, vorzugsweise aus Cu, aufgebracht. Diese Leiterflächen haben die Form von Leiterbahnen 4, 4' und Montageflächen 11. Auf die Montageflächen 11, von denen in Fig. 1 nur eine beispielhaft gezeigt ist, sind Halbleiterbauelemente 7 aufgelötet, deren innere Struktur in der Abbildung aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht näher bezeichnet ist, und die als Thyristoren, Dioden oder Transistoren ausgestaltet sein können.

Die Leiterbahnen 4, 4' dienen als Anschlussbahnen für die Halbleiterbauelemente 7 und stellen gleichzeitig die Verbindungen zwischen verschiedenen Bauelementen innerhalb eines Moduls her. Ist das Halbleiterbauelement 7 der Fig. 1 beispielsweise ein Leistungsthyristorchip, das mit seiner Anodenseite auf

zwischen der Gate-Elektrode und Kathode und den entsprechenden Leiterbahnen 4 und 4' z.B. durch Bonddrähte 6 und 6' hergestellt. Für den externen Anschluss des Moduls können Anschlusslaschen 5 und 5' vorgesehen werden, die auf die Leiterbahnen 4 und 4' aufgelötet sind und durch ein nicht gezeigtes Modulgehäuse hindurch nach aussen geführt werden.

Auf der Unterseite des Substrats 3 ist bei dem Modul der Fig. 1 eine Rückenplatte 2, ebenfalls aus Cu, vorgesehen, die, ebenso wie die Leiterbahnen 4, 4' und Montageflächen 11, mit dem Substrat 3 durch einen Verbindungsprozess verbunden worden ist, der als «direct bonding» beispielsweise aus der EP-A1 0 049 007 bekannt ist und mittels einer eutektischen Cu/CuO-Schmelze eine feste Verbindung zwischen Substrat und Kupferschicht ermöglicht. Die Rückenplatte 2 steht mit ihrer dem Substrat 3 abgewandten Seite in thermischem Kontakt zu einem Kühlkörper 1, über den die im Modul entstandene Wärme nach aussen abgeführt wird.

Neben ihrer Funktion als geerdete Bezugselektrode, auf die im weiteren Verlauf noch näher eingegangen wird, verbessert die Rückenplatte 2 den Wärmeübergang zwischen Substrat 3 und Kühlkörper 1 und erhöht die Gleichmässigkeit der Temperaturverteilung am Übergang zum Kühlkörper 1.

Der Kern der Erfindung besteht nun darin, für das Substrat 3 ein Varistormaterial einzusetzen, das bei auftretenden Überspannungen zwischen den Leiterflächen teilweise leitend wird und einen parallelgeschalteten Ableitwiderstand bildet, der die schädlichen Überspannungen abbaut, ohne die Funktion der Schaltung grundsätzlich zu beeinträchtigen.

Ein solches Varistormaterial, wie es aus der Technik der Überspannungsableiter bekannt ist und z.B. in der US-PS 3 896 480 beschrieben wird, zeichnet sich durch eine extrem nichtlineare Strom-Spannungskennlinie aus: Bei kleinen Feldstärken wirkt das Material für alle praktischen Fälle als Isolator und wird erst oberhalb einer gewissen Feldstärke gut leitend. Die Kennlinie der Abhängigkeit des Stromes J von der Spannung U lässt sich durch die Funktion

$$J = \left(\frac{U}{C} \right)^\alpha$$

beschreiben, wobei α eine für das Material charakteristische Konstante ist und der Koeffizient C die geometrische Struktur des betreffenden Varistorelements berücksichtigt.

Für die bekannten Sinterkeramiken auf der Basis des Metalloxids ZnO, die üblicherweise weitere Metalloxide, wie z.B. Wismutoxid (Bi_2O_3) als Zusätze enthalten, ergeben sich für die Konstante α Werte im Bereich von 10 - 50. Solche Varistorkeramiken können mit Vorteil als Material für das Substrat 3 eingesetzt werden, wenn der Einsatzpunkt für die Spannungsbegrenzung besonders scharf definiert sein soll.

Hinsichtlich des Wärmewiderstandes zwischen der Schaltung und dem Kühlkörper 1 bedeutet die Verwendung einer ZnO-Varistorkeramik für das Substrat gegenüber der üblicherweise eingesetzten, isolierenden Al_2O_3 -Keramik keine Veränderung, weil die Wärmeleitfähigkeit für beide Keramikttypen praktisch gleich ist. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung bei Leistungsmodulen, bei denen der sicheren Wärmeabfuhr eine wichtige Rolle zufällt.

Beim Betrieb eines elektronischen Schaltungsmoduls der in Fig. 1 gezeigten Konfiguration können zwei Arten der Spannungsbegrenzung auftreten: die horizontale Begrenzung zwischen zwei Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats 3 und die vertikale Begrenzung zwischen einer der Leiterflächen und der gegenüberliegenden, geerdeten Rückenplatte 2.

Im ersten Fall wird die Begrenzerfunktion von einem lokalen Varistorelement übernommen, das durch den Teil des Substratmaterials abgebildet wird, der im Zwischenraum zwischen den Leiterflächen liegt. Gemäss dem Ausführungsbeispiel

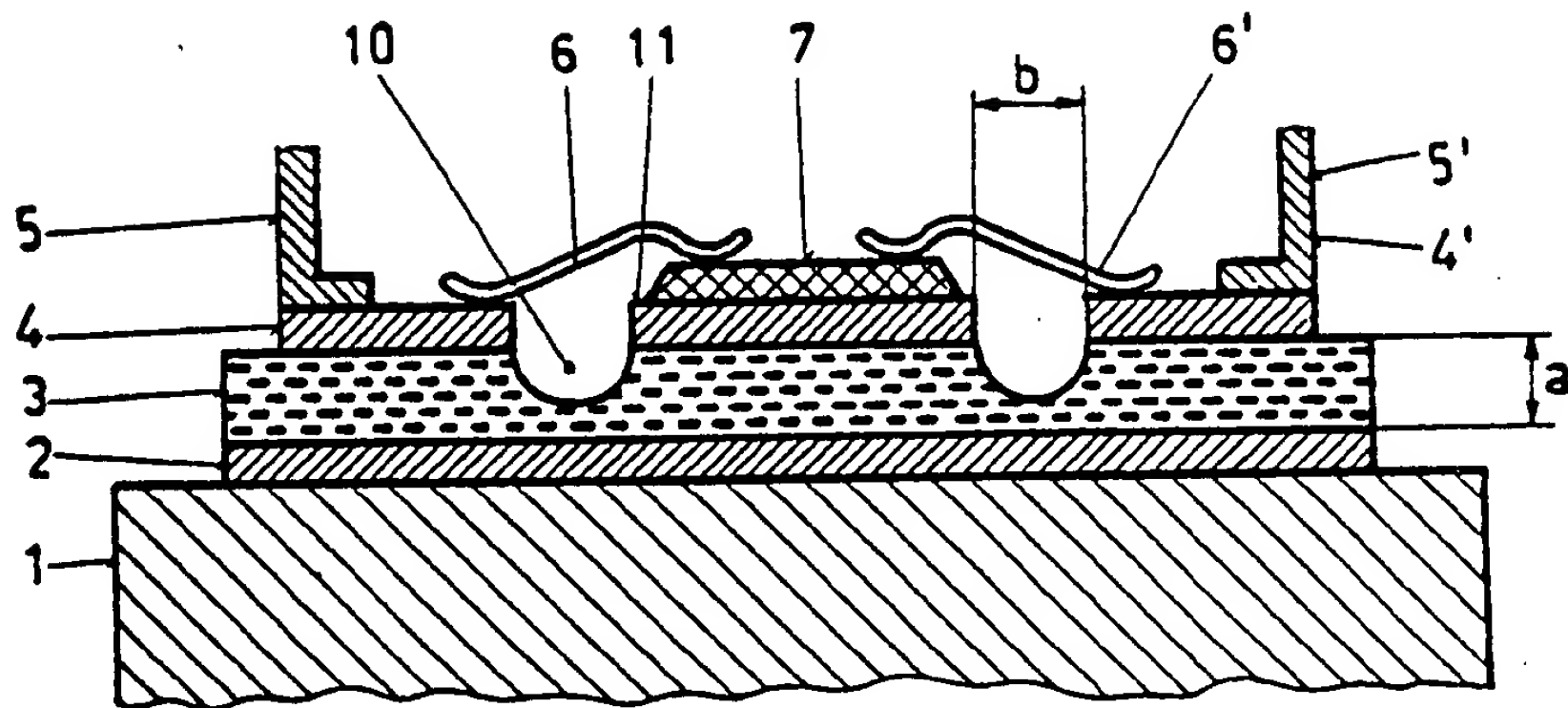


FIG. 3

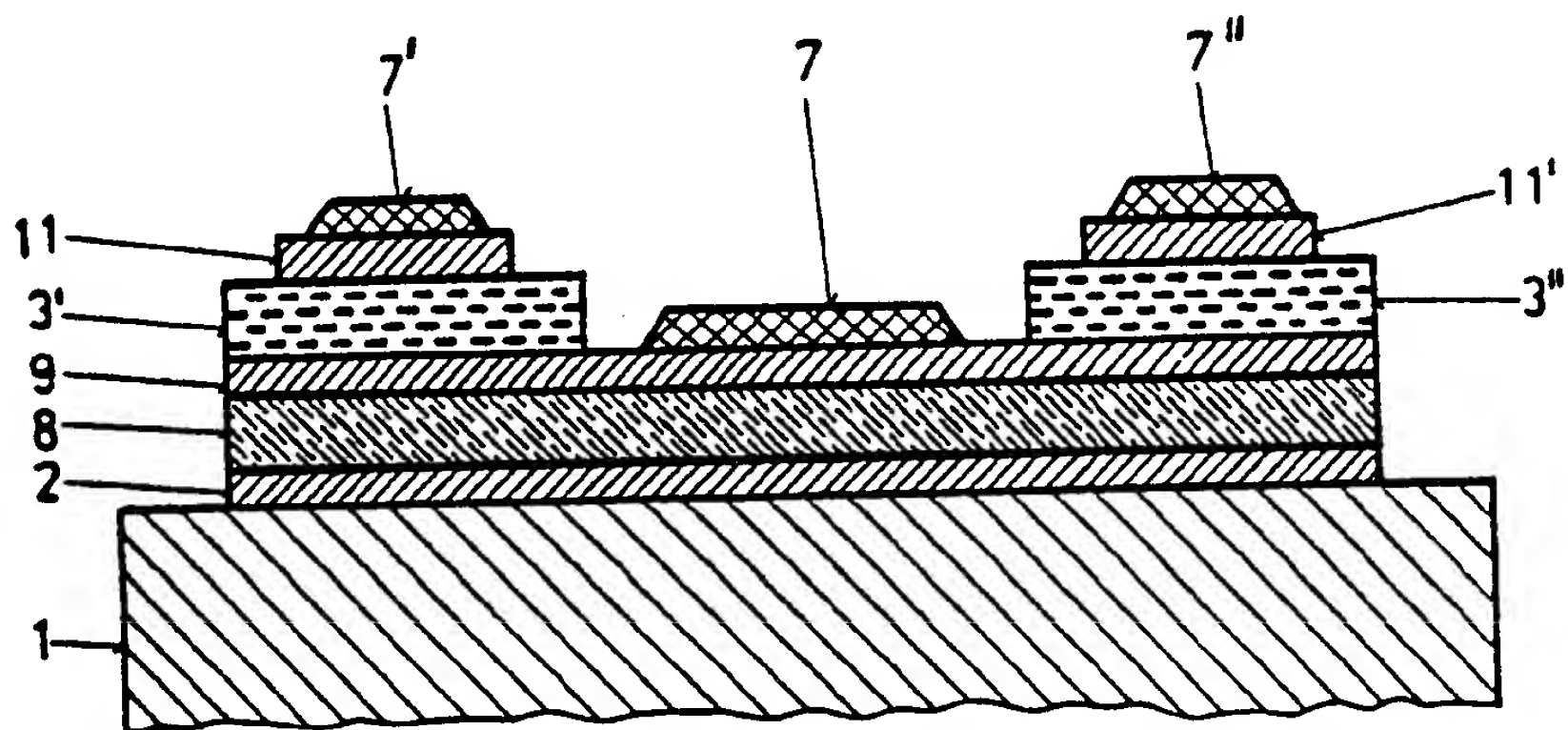


FIG. 4

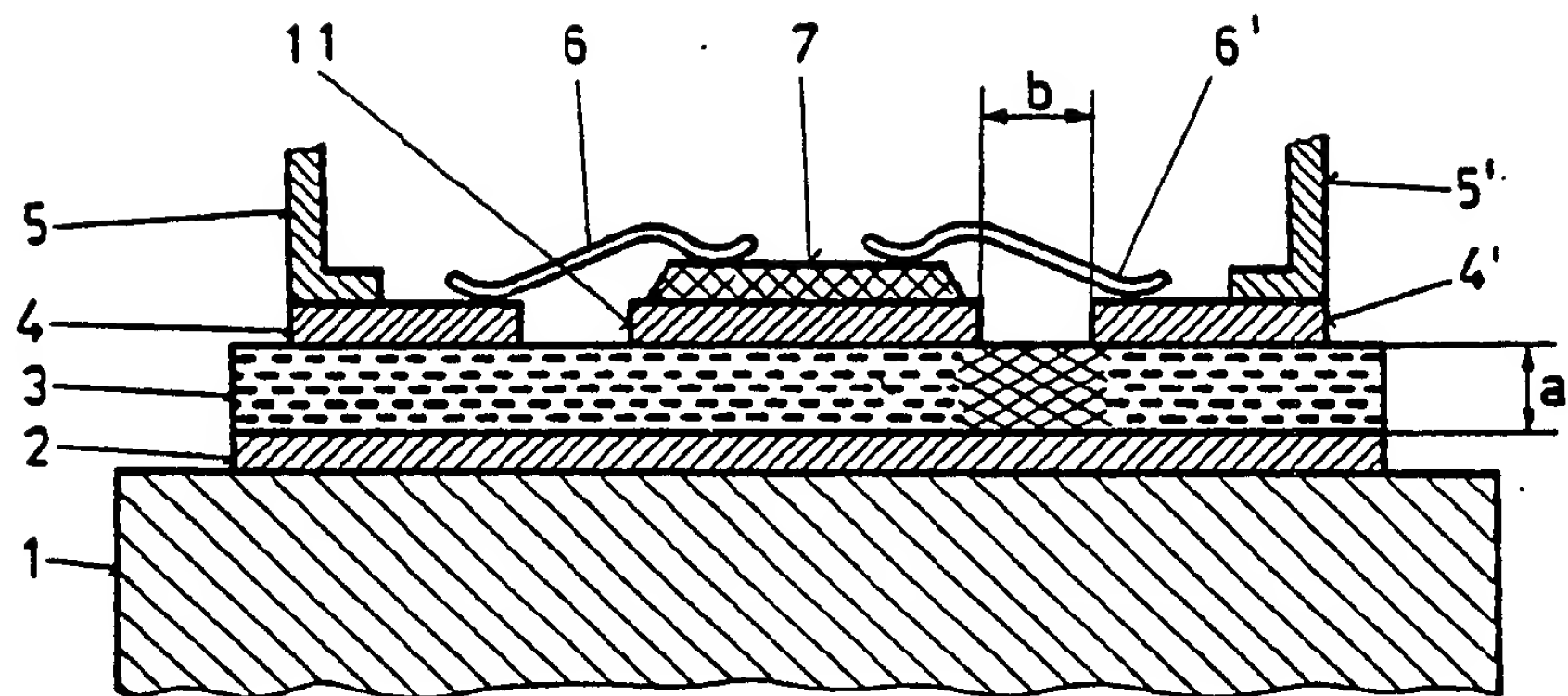


FIG. 1

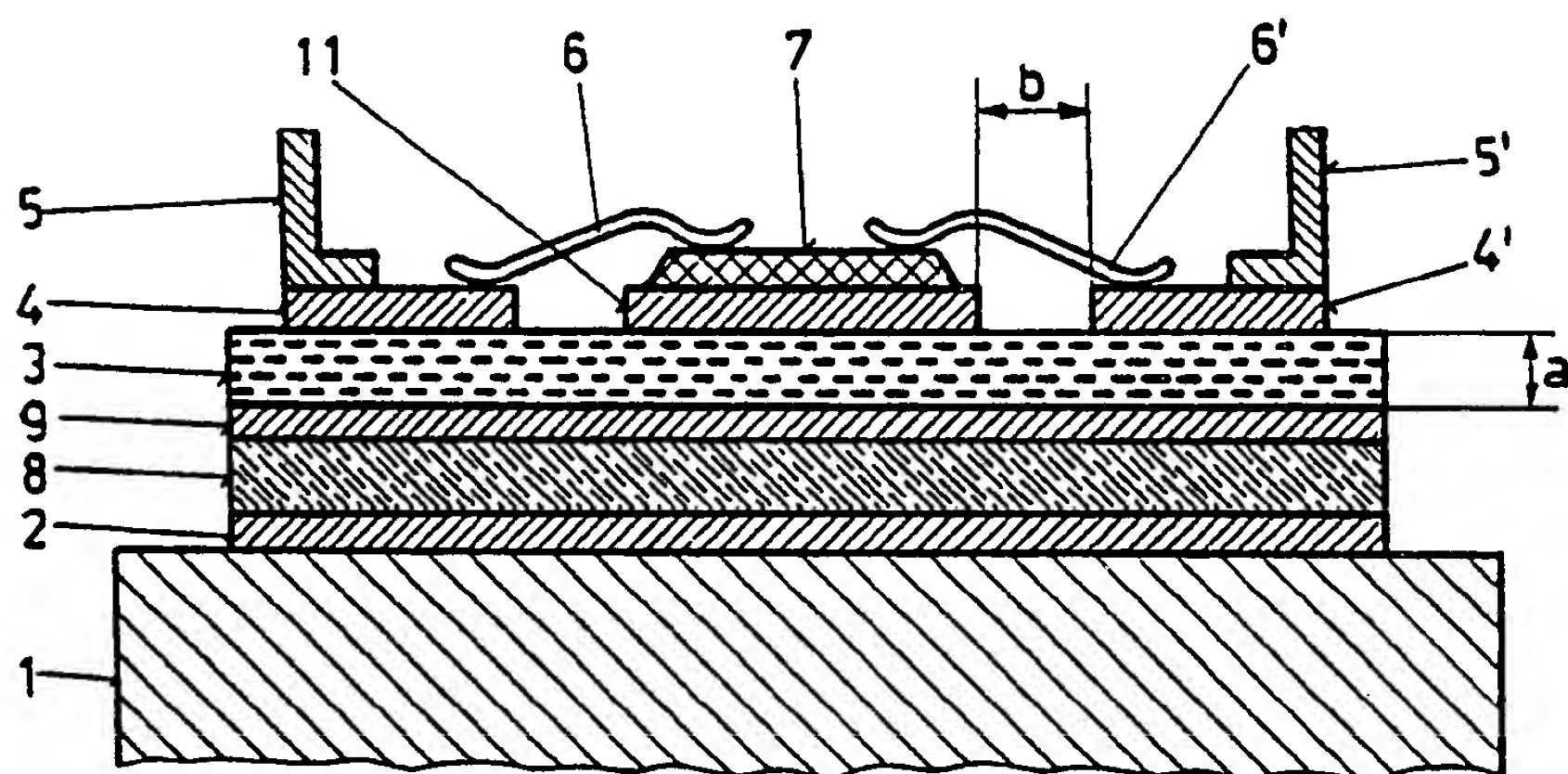


FIG. 2

Schliesslich kann für die Anwendungsfälle, bei denen eine vertikale Spannungsbegrenzung nicht notwendig ist, gemäss dem Ausführungsbeispiel der Fig. 6 auf eine Rückenplatte auf der Unterseite des Substrats 3 ganz verzichtet werden, wenn eine thermische Ankopplung an einen Kühlkörper nicht vorgesehen ist, oder die direkte thermische Ankopplung der Substrat-

keramik an einen darunterliegenden Kühlkörper für die auftretenden Betriebsfälle ausreicht.

Insgesamt stellt das elektronische Schaltungsmodul nach der Erfindung ein Modul mit integriertem Überspannungsschutz dar, das sich durch Einfachheit in Herstellung und Aufbau auszeichnet und eine hohe Belastbarkeit aufweist.

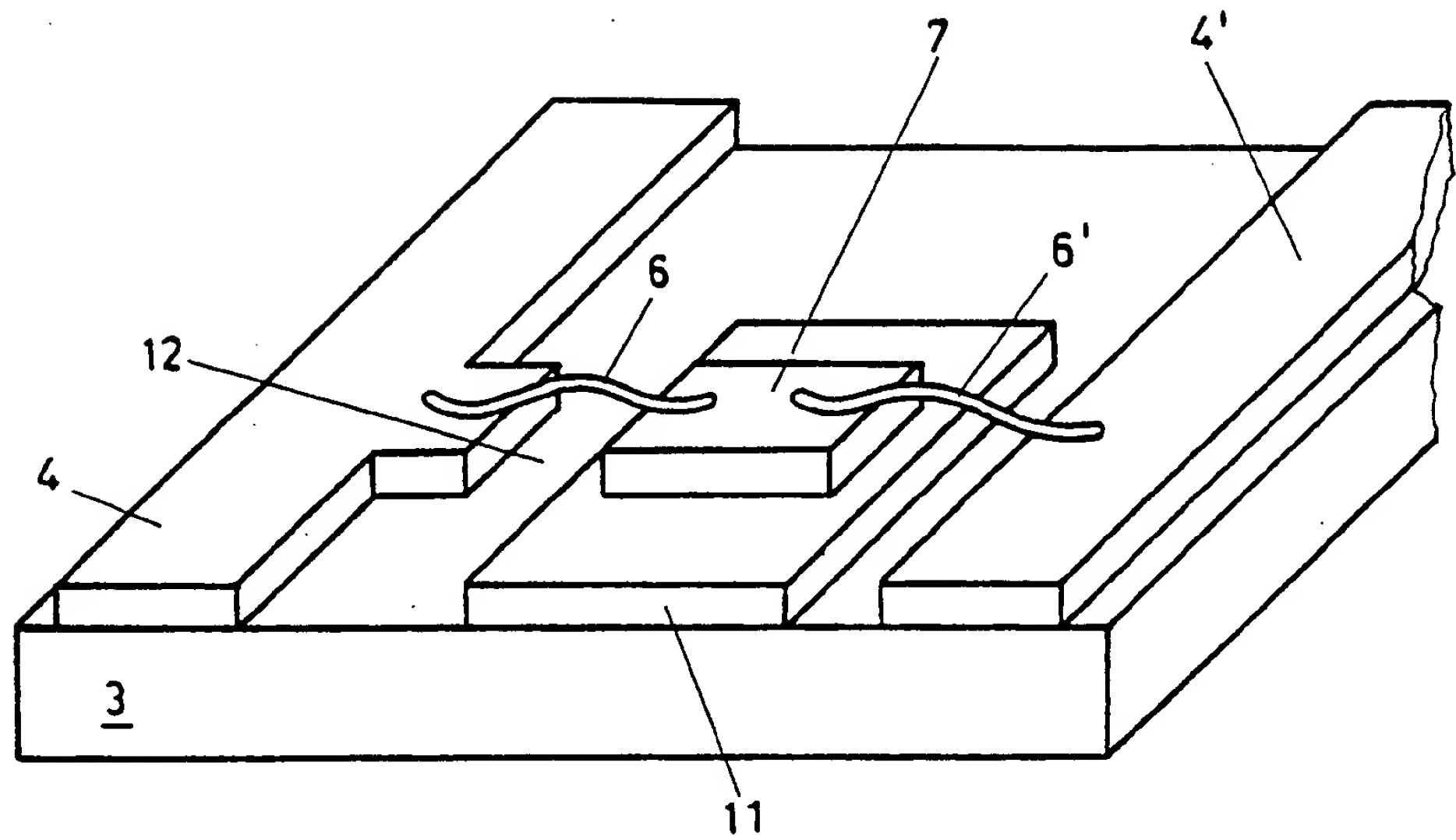


FIG. 5

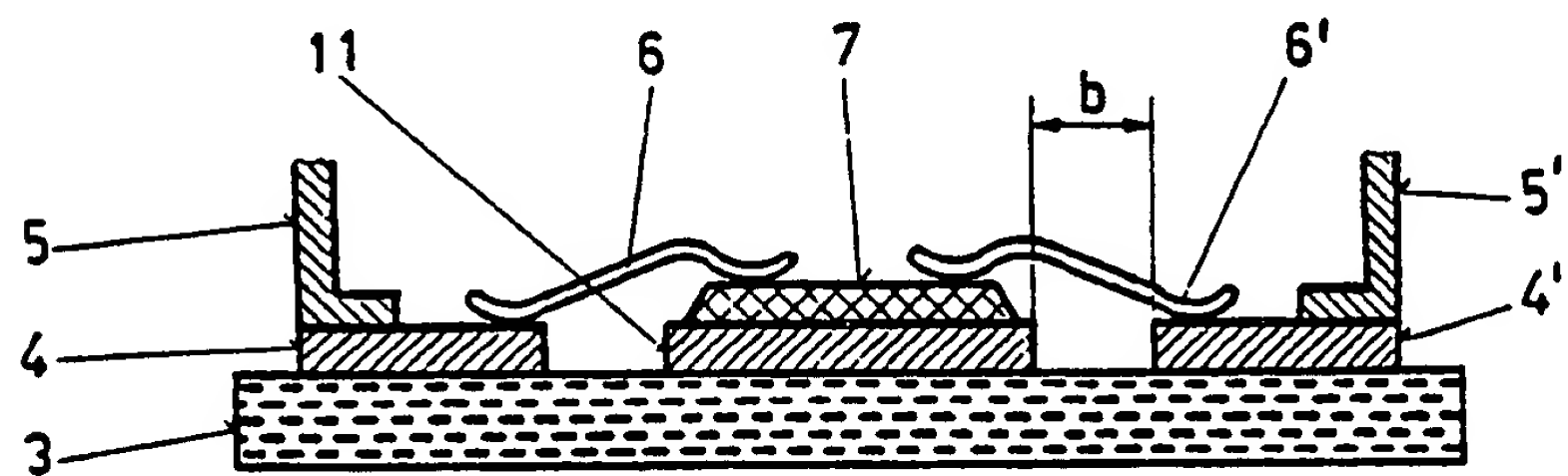


FIG. 6

se zwischen der Montagefläche 11 und der Leiterbahn 4' ein Überspannung, die normalerweise zu einer Zerstörung des Bonddrahtes 6' durch einen Stromstoß führen könnte, wird der durch Kreuzschraffur in Fig. 1 gekennzeichnete Bereich im Substratmaterial leitend und überträgt einen Teil des entstehenden Überstromes. Der Einsatzpunkt der Begrenzung, d.h. die Grenzspannung, bei der das betreffende Substratmaterial seine Isolationsfähigkeit verliert, wird im wesentlichen durch die Breite b des Zwischenraumes bestimmt. Je grösser b gewählt wird, desto später setzt die Begrenzung ein. Bei der Strukturierung der Leiterflächen durch einen der üblichen Photoätzprozesse kann daher auf einfache Weise die Grenzspannung zwischen zwei Leiterflächen durch geeignete Wahl des Parameters b festgelegt werden. Die Belastbarkeit des lokalen Varistorelements wächst dabei mit der Länge, über welche die benachbarten Leiterflächen auf dem Substrat parallel verlaufen.

Im zweiten Fall der vertikalen Begrenzung wird die Grenzspannung im wesentlichen durch die Dicke a des Substrats 3 bestimmt. Aus Gründen der mechanischen Stabilität ist es vorteilhaft, die Dicke a grösser als 0,5 mm zu wählen, um den «direct bonding»-Prozess für die Verbindung zwischen Substratkeramik und Cu-Platten ohne Schwierigkeiten durchführen zu können und eine Verbiegung der Sandwich-Struktur aufgrund unterschiedlicher Ausdehnungskoeffizienten zu vermeiden. Insbesondere sollte die Dicke a deutlich grösser sein als die Schichtdicken der Cu-Leiterflächen und der Rückenplatte 2, um die thermische Ausdehnung der Sandwich-Struktur, die dann hauptsächlich durch den Ausdehnungskoeffizienten der Substratkeramik bestimmt wird, besser an die Ausdehnung der aus Silizium bestehenden Halbleiterbauelemente anzupassen. Da der Ausdehnungskoeffizient der Varistorkeramiken wesentlich näher an dem des Siliziums liegt (ZnO : $5,7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$; Si : $4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) als dies für Cu der Fall ist (Cu : $17 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), können auf diese Weise thermische Ermüdungserscheinungen innerhalb des Moduls besser vermieden werden.

Die Schichtdicke der Leiterflächen wird im wesentlichen durch die im Betrieb auftretende Strombelastung bestimmt. Dicken zwischen 0,2 und 0,5 mm haben sich dabei als vorteilhaft herausgestellt.

Besonders günstig ist die erfindungsgemässe Integration des Überspannungsschutzes in das Modul-Substrat für die Ableitung der im Überspannungsfall in den lokalen Varistorelementen auftretenden Wärme. Da das Substrat 3 in engem thermischen Kontakt mit dem Kühlkörper 1 steht, ist eine sichere und gleichmässige Wärmeabfuhr auch bei höheren Leistungen gewährleistet. Die Wärmeleitungseigenschaften der ZnO -Keramik sind in diesem Zusammenhang vergleichbar mit denen der sonst verwendeten, isolierenden Al_2O_3 -Keramik, die eine Wärmeleitfähigkeit von etwa $20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ aufweist. Entscheidende Verbesserungen in der Wärmeableitung lassen sich erreichen, wenn statt einer ZnO -Keramik für das Substrat 3 eine neu entwickelte SiC -Keramik verwendet wird, die unter dem Namen «Hitaceram SC 101» von der Firma Hitachi Ltd., Ibaraki-Ken, Japan, im Handel angeboten wird. Diese SiC -Keramik mit einem Zusatz aus BeO zeigt einerseits einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten, der weitgehend mit dem des Siliziums übereinstimmt, und wirkt daher in idealer Weise den bereits erwähnten thermischen Ermüdungserscheinungen entgegen. Zum anderen hat «Hitaceram SC 101» eine Wärmeleitfähigkeit von etwa 240 bis $270 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, die um eine Grössenordnung höher ist als beim ZnO , und daher eine weitere Steigerung der thermischen Belastbarkeit des Moduls ermöglicht.

Anders als beim ZnO ist die Varistoreigenschaft der SiC -Keramik nicht so ausgeprägt. Die Nichtlinearität der Stromspannungskennlinie lässt sich durch einen Exponenten von etwa 6,5 beschreiben. Diese Nichtlinearität sichert für ein Substrat aus

In Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein elektronisches Schaltungsmodul nach der Erfindung dargestellt. Zwischen der aus Fig. 1 bekannten Rückenplatte 2 und dem Substrat 3 aus Varistormaterial ist hier eine Schichtfolge aus einer Zwischenleitschicht 9 und einer Isolierkeramikschiicht 8 eingefügt. Die Zwischenleitschicht 9 besteht vorzugsweise ebenfalls aus Kupfer und ist mit den angrenzenden Keramikschiichten 3 und 8 mittels des erwähnten «direct bonding»-Prozesses verbunden worden. Die Isolierkeramikschiicht 8 ist vorzugsweise aus der bekannten Al_2O_3 -Keramik aufgebaut und isoliert das Schaltungsmodul mit der im Substrat 3 integrierten Spannungsbegrenzung vom Potential des Kühlkörpers 1. Die Zwischenleitschicht 9 übernimmt hier die Funktion der Rückenplatte 2 in einer Anordnung nach Fig. 1, d.h. sie dient als rückwärtige Elektrode für die vertikale Spannungsbegrenzung und kann auf ein vom Kühlkörper 1 unabhängiges Bezugspotential gelegt werden.

Eine Weiterbildung der Anordnung aus Fig. 2 mit den beschriebenen Zwischenschichten 8 und 9 ist in Fig. 4 schematisch wiedergegeben. In dieser Weiterbildung wird unterschieden zwischen überspannungsempfindlichen Halbleiterbauelementen 7' und 7'', die in bereits bekannter Weise über Substrate 3' und 3'' aus Varistormaterial mit der Zwischenleitschicht 9 in Verbindung stehen, und unempfindlichen Halbleiterbauelementen 7, die in Teilbereichen des Moduls ohne Überspannungsschutz direkt auf die Zwischenleitschicht 9 aufgebracht sind. Auf diese Weise können die unterschiedlichen Grenzwerte verschiedener Halbleiterbauelemente optimal berücksichtigt werden.

Eine zusätzliche Möglichkeit, die horizontalen Begrenzungseigenschaften des Substrats 3 nach dem Aufbau der Schichtstruktur zu beeinflussen, ist in Fig. 3 dargestellt. Bei vorgegebener Breite b der Zwischenräume zwischen den Leiterflächen, die eine minimale Grenzspannung der lokalen Varistorelemente festlegt, lässt sich der Einsatzpunkt für die Spannungsbegrenzung durch Vertiefungen 10 nach oben verschieben, die in den Zwischenräumen zwischen den Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats 3 vorgesehen sind. Die Vertiefungen 10 können beispielsweise durch einen der aus der Halbleitertechnologie bekannten Abtragungsprozesse wie Plasmaätzen in die Substratoberseite eingebracht werden. Sie vergrössern die effektive Länge der lokalen Varistorelemente und ermöglichen so eine nachträgliche, individuelle Veränderung der Begrenzungsparameter. Zugleich können mit den Vertiefungen 10 die nichthomogenen Verteilungen der elektrischen Feldstärke zwischen den benachbarten Kanten der Leiterflächen berücksichtigt werden, die zu lokalen Strompfaden im Varistormaterial führen und die lokalen Varistorelemente irreversibel schädigen können.

Die horizontale Spannungsbegrenzung zwischen den Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats 3 wird, wie bereits erwähnt, im wesentlichen durch die Breite b der Zwischenräume bestimmt. Diese Breite b ist jedoch nur dann eindeutig definiert, wenn die betreffenden Leiterflächen auf beiden Seiten des Zwischenraumes über die gesamte Substratlänge parallel verlaufen. Eine solche Forderung schränkt die Gestaltungsmöglichkeiten für die geometrische Form der Leiterflächen erheblich ein. Gemäss einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung wird daher, wie in Fig. 5 dargestellt, zumindest eine der Leiterflächen so ausgebildet, dass sich in dem Zwischenraum eine Verengung 12 mit definierter Breite und Länge ergibt, die im wesentlichen die Begrenzungseigenschaften des zugehörigen lokalen Varistorelements bestimmt. Voraussetzung dafür ist ein hinreichend grosser Unterschied zwischen der Breite innerhalb der Verengung 12 und der Breite ausserhalb der Verengung 12. Die Länge der Verengung 12 ist dabei für die Strombelastbarkeit des Varistorelements von Bedeutung. Auf die beschriebene Weise lassen sich lokale Varistorelemente mit festgelegten Be-

PATENTANSPRÜCHE

1. Elektronisches Schaltungsmodul, insbesondere für die hybride Integration von Leistungs-Halbleiterbauelementen, mit einem Substrat (3), auf dessen Oberseite eine Mehrzahl von Leiterflächen in Form von Montageflächen (11) für Halbleiterbauelemente (7) und Leiterbahnen (4, 4') für den Anschluss der Halbleiterbauelemente (7) nebeneinander angeordnet und durch Zwischenräume voneinander getrennt sind, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (3) aus einem Varistormaterial besteht, dessen nichtlineare Strom-Spannungs-Kennlinie der Form $J - U^\alpha$ durch einen Exponenten $\alpha > 5$ charakterisiert ist, und dass die Breite (b) der Zwischenräume zwischen den jeweiligen benachbarten Leiterflächen so gewählt ist, dass das zwischen den Leiterflächen liegende Varistormaterial einen Spannungsbegrenzer zum Schutz angeschlossener Halbleiterbauelemente vor Überspannungen bildet.

2. Elektronisches Schaltungsmodul nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass auf der Unterseite des Substrats (3) eine metallische Rückenplatte (2), vorzugsweise aus Kupfer, angeordnet ist, und die Dicke (a) des Substrats (3) zwischen den Leiterflächen und der Rückenplatte (2) so gewählt ist, dass das zwischen den Leiterflächen und der Rückenplatte (2) liegende Varistormaterial einen weiteren Spannungsbegrenzer zum Schutz angeschlossener Halbleiterbauelemente vor Überspannungen bildet.

3. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Varistormaterial des Substrats (3) eine Keramik auf der Grundlage eines Metalloxids, vorzugsweise ZnO, ist, und die Dicke (a) des Substrats (3) grösser als 0,5 mm ist.

4. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Varistormaterial des Substrats (3) eine Keramik auf der Grundlage von SiC mit Beimengungen von BeO ist, und die Dicke (a) des Substrats (3) grösser als 0,5 mm ist.

5. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in den Zwischenräumen zwischen den Leiterflächen auf der Oberseite des Substrats (3) Vertiefungen (10) im Substrat (3) vorgesehen sind.

6. Elektronisches Schaltungsmodul nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Substrat (3) und der Rückenplatte (2) eine an das Substrat (3) angrenzende Zwischenleitschicht (9), vorzugsweise aus Kupfer, und eine an die Rückenplatte (2) angrenzende Isolierkeramikschiicht (8), vorzugsweise aus Al_2O_3 , angeordnet sind.

7. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 2 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückenplatte (2) mit ihrer dem Substrat (3) abgewandten Seite mit einem Kühlkörper (1) in Kontakt steht.

8. Elektronisches Schaltungsmodul nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in Teilbereichen des Moduls Bauelemente direkt auf die Zwischenleitschicht (9) aufgebracht sind.

9. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungsbegrenzung des zwischen den Leiterflächen liegenden Substratmaterials im wesentlichen durch eine Verengung (12) des Zwischenraumes zwischen den Leiterflächen bestimmt ist.

10. Elektronisches Schaltungsmodul nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Leiterflächen Kupferschichten mit einer Dicke von 0,2 - 0,5 mm sind, und mit dem Substrat über eine Löttschicht aus einer eutektischen Kupfer-Kupferoxid-Legierung stoffschlüssig verbunden sind.

tungsmodul ist beispielsweise aus den BBC-Nachrichten, Heft 7, 1982, S. 196 - 200 bekannt.

In der Leistungselektronik geht man zunehmend zu einer hybriden Integration von Leistungs-Halbleiterbauelementen in sogenannten Moduln oder Sätzen über. Bei dieser Integration werden mehrere aktive und möglicherweise auch passive Bauelemente in einem solchen Modul zusammengefasst.

Beim Aufbau eines Moduls der bekannten Art werden auf eine isolierende Al_2O_3 -Keramik durch direktes Verbinden («direct bonding») mittels einer eutektischen Cu/CuO₂-Schmelze ein- oder beidseitig Cu-Bleche aufgebracht. Auf der Bauelementeseite, d.h. der Oberseite des Keramiksubstrats, werden dann Leiterbahnen und Montageflächen für die Lötmontage von Bauelementen, z.B. Halbleiterchips, Chipkondensatoren oder Chipwiderstände, herausgeätzt. Schliesslich werden Anschlusslaschen und die Bauelemente aufgelötet, wobei zur Erhöhung der Lastwechselfestigkeit auch noch Molybdän-Ronden zwischen Bauelement und Substrat gelötet werden können. Im Falle von abschaltbaren Thyristorelementen (Gate-Turn-Off-Elementen) werden beispielsweise die Gate- und Kathodenanschlüsse durch Aluminium-Bonddrähte hergestellt.

Nach Beendigung des elektrischen Aufbaus wird das beschriebene Modul gekapselt und vergossen und auf diese Weise gegen störende Umwelteinflüsse geschützt. Es stehen dann beispielsweise gesteuerte Thyristorbrücken für Gleichströme von etwa 20 A, Spitzensperrspannungen bis 1,4 kV und einer elektrischen Isolationsfestigkeit von mindestens 2,5 kV zur Verfügung, die in einem Normgehäuse aus Kunststoff untergebracht sind.

Den vielen Vorteilen solcher Module wie reduzierter Montageaufwand, Schaltungsvereinfachung oder erhöhte Funktionssicherheit, steht ein gewichtiger Nachteil gegenüber, der besonders bei der Tendenz zu immer grösseren und auch komplexeren Moduln ins Gewicht fällt: Wird nur ein Bauelement oder Bonddraht innerhalb eines Moduls durch Überlastung zerstört, ist das gesamte Modul weitgehend unbrauchbar geworden, weil eine Reparatur an der vergossenen Schaltung nicht durchgeführt werden kann. Es ist daher wünschenswert, eine Überlastung einzelner Bauelemente oder Verbindungsdrähte direkt innerhalb eines Moduls der beschriebenen Art zu verhindern.

Aus der US-PS 3 896 480 ist es bekannt, ein einzelnes, gegen Überspannungen empfindliches Halbleiterbauelement in seinem Gehäuse dadurch zu schützen, dass in dieses Gehäuse ein Ring aus Varistormaterial als Shuntwiderstand integriert wird. Die Anwendung eines solchen Varistorrings ist jedoch auf ein einzelnes Bauelement, wie z.B. einen Leistungsthyristor, beschränkt, und kann daher nicht auf ein hybrides Modul mit mehreren Halbleiterbauelementen übertragen werden. Zudem sind Herstellung und Einbau der Ringe aufwendig und mit erheblichen zusätzlichen Kosten verbunden.

Aus der WO-A1 83/01153 ist weiterhin eine integrierte Schutzschaltung für hybride oder monolithische ICs mit MOS-Elementen bekannt, bei der auf den elektrischen Anschlussbahnen eine dünne Schicht aus Varistormaterial abgeschieden wird und zwischen den Anschlussbahnen und einer über der Varistorschicht liegenden Metallisierung eine Reihe von Spannungsbegrenzer-Elementen bildet. Eine solche nachträglich aufgebrachte Varistorschicht von weniger als 100 µm Dicke, die mehrere zusätzliche Verfahrensschritte notwendig macht, führt zu Begrenzerspannungen in der Grössenordnung von 50 V, die zwar für empfindliche MOS-Elemente geeignet sind, für Module der Leistungselektronik mit Sperrspannungen im kV-Bereich aber nicht ausreichen.

Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein elektronisches Schaltungsmodul mit einem integrierten Überspannungsschutz zu schaffen, der für das gesamte Modul in einfachen